

# Geochemistry of magmatic and hydrothermal proceses in some granitic and metamorphic rocks, northeastern Japan

著者	落合 清茂
号	37
学位授与番号	1028
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/38252">http://hdl.handle.net/10097/38252</a>

氏名・(本籍)	おち 落   あい 合   きよ 清   しげ 茂
学位の種類	博   士 (理   学)
学位記番号	理 第 1   0   2   8   号
学位授与年月日	平 成 6 年 1 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
最 終 学 歴	昭 和 49 年 3 月 東北大学大学院理学研究科修士課程 地学専攻修了
学位論文題目	Geochemistry of magmatic and hydrothermal processes in some granitic and metamorphic rocks, northeastern Japan
論文審査委員	(主査) 教 授 青 木 謙一郎      教 授 蟹 澤 聰 史 教 授 秋 月 瑞 彦

## 論 文 目 次

Part I : Melting of tholeiitic amphibolites and formation of calc-alkaline tonalitic to trondhjemitic magmas, Abukuma Mountains, Japan

- 1 . Introduction
- 2 . Geological outline
- 3 . Occurrence and mineral compositions of the gabbroic to trondhjemitic veins
- 4 . P-T-H<sub>2</sub>O estimation of amphibolite-anatexis
- 5 . Variation of major elements in the process of partial melting, segregation and fractional crystallization
- 6 . Trace elements chemistry and petrogenetic implications of the tonalitic to trondhjemitic magma

## 7. Summary

Part II : Behavior of elements during the skarn formation and genesis of the skarn deposits in the Kamaishi mine, Japan

1. Introduction
2. Geologic setting
3. Petrography
4. Physical-chemical conditions of skarn formation
5. Major and trace element chemistry
6. Behavior of the rare earth elements during skarn formation
7. A reaction model relating skarn zones and ore formation at the Nippo copper ore deposit
8. Interpretation of skarn ore-forming process
9. Summary and conclusions

## 論文内容要旨

要旨：(Part I) 花こう岩質マグマは大陸地殻の生成と成長発達過程において重要な役割を果たしており、その成因の一つとして下部大陸地殻の構成物質の部分融解が考えられている。天然の岩石を用いて花こう岩質マグマを生成する部分融解実験は比較的多くなされているが、野外において起源物質、とくにマフィック岩類の部分融解により花こう岩質マグマが生成する過程を具体的に解析した例は少ない。本研究では、阿武隈山地石川岩体南部周辺部において観察された角閃岩の部分融解現象について、花こう岩質マグマの発生、生成したメルトの濃集、移動と分化のプロセスを具体的に解析し、目に見える花こう岩質マグマの一つの生成モデルを示す。

問題の角閃岩中には、はんれい岩、石英閃緑岩、トーナラル岩、そしてトロニウム岩へ、 $\text{SiO}_2$  組成が45から75%へと大きく連続的に変化する岩脈(幅 $\leq 5$  cm)がネットワーク状に分布している。はんれい岩質脈は、角閃石+単斜輝石+イルメナイト+Ca 斜長石 An70-80 からなるクロット状の部分とそれらの間を埋める優白質の部分(粗粒の斜長石 An45-60+角閃石)からなる。角閃岩の融解実験の状態図と比較すると、これらの鉱物組合わせは固相線より高温での平衡関係を示し、クロットの部分は融け出したメルトと平衡にあった融け残りの結晶で、優白質部分はメルトから再晶出した結晶であると考えられる。この部分融解は、閃緑岩質岩体(石川岩体)の貫入による接触変成作用によって生じたもので、それらの鉱物組合わせ、角閃石-斜長石地質温度計、そして融け残りの斜長石の組成などから、圧力は約3 kb、温度は800°Cより高温で、水に富んだ条件であったと見積もられる。

部分融解によって生成したメルトの大部分は母岩の角閃岩から分離・移動・分化し、石英閃緑岩、トーナラル岩、トロニウム岩の岩脈をつくった。主成分の組成の変化を見ると、トーナラル岩、トロニウム岩は $\text{SiO}_2$ と、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ の斜長石成分に富み、はんれい岩は逆にこれらの成分に乏しく、 $\text{FeO}$ や $\text{MgO}$ に富む。角閃岩はほぼ両者の間の組成をもつ。また $\text{SiO}_2$ の変化に対する他の成分の変化を見ると、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 以外の成分は単調に直線的に減少するが、これらの成分は $\text{SiO}_2$ がおおよそ58%で屈曲する。これらの化学的特徴は、角閃岩が融解して斜長石成分に富むトーナライト質メルトが生成し、メルトがはんれい岩質の融け残り結晶から分離・分化し、石英閃緑岩、トーナラル岩、トロニウム岩をつくったことを示す。この分化作用は、分別結晶作用によるもので、"レスタイト不混合モデル"によるものではない。岩質の変化に対応した斜長石の組成の変化などの鉱物組成の性質は前者を支持しており、逆にトーナラル岩やトロニウム岩に融け残り結晶が認められないなどの事実は後者を否定する。微量成分組成の変化もこの部分融解とメルトの分化モデルを支持する。とくに希土類元素のコンドライト規格化パターンの変化、Eu 異常の正負の大きな変化は、はんれい岩が主に融解残渣(およびトラップされたメルトからの晶出物)、石英閃緑岩が分別結晶作用での集積物、トーナラル岩とトロニエ

ム岩がその分化物であることを明瞭に示す。

生成したトーナル岩、トロニウム岩は、カルクアルカリ岩の分化トレンドを示す。これに対して起源岩である角閃岩は高アルミナ玄武岩（高アルカリソレアイト）であったと推定される。このカルクアルカリ岩質のマグマの生成には、融解残渣あるいは分別結晶としての角閃石、単斜輝石、イルメナイト、そして斜長石が重要な役割を果している。カルクアルカリ岩質マグマの成因の一つとして、角閃石の役割を重視し、玄武岩質下部地殻の角閃石を融解残渣とする部分融解というモデル提示されている。本地域のマグマの生成は、このようなモデルのいわば“その場観察”の具体例といえる。さらに、これらのトーナル岩、トロニウム岩は、メタルミナスで正の Eu 異常を有し、Y と Yb に乏しい。このような岩石は、地殻深部あるいはマントルでエクログャイトに変化した玄武岩（とくに沈み込むスラブ）が融解して生成したものと考えられていた。本地域の例は、明らかに地殻浅部（約10km）で、かつ水に富んだ条件で生成しており、このようなマグマの成因に対して異なる一つの新たな生成モデルを示した。

（Part II） スカルン鉱床では、一般に熱水流体と石灰岩などの炭酸塩岩との間で交代反応がおこりスカルンが生成され、その生成過程で金属元素の濃集と沈殿がおこり、鉱床が形成される。スカルン鉱床の基本的な問題は、一つは、大規模な物質移動とそのメカニズムであり、次に、時間空間的密接に伴うスカルンと鉱石がどのように生成したのかということである。さらに、多量の金属元素を溶存し流入する流体の性質と起源の問題がある。これらの問題に取り組むためにこの研究では、日本の代表的な鉄・銅鉱床である釜石鉱山の日峰鉱床と新山鉱床の岩石・鉱床学的な記載を行い、その生成条件を解析した。とくに日峰鉱床のスカルン帯について定量的な反応モデルをつくり、物質移動とそのメカニズムを解析し、鉱床の成因を明らかにした。

日峰鉱床では、石英閃緑岩から石灰岩の間に次のようなスカルン帯が発達する。スカルン Ia：角閃石－単斜輝石－斜長石スカルン、スカルン Ib：単斜輝石－斜長石スカルン、スカルン II：斜長石－ザクロ石－単斜輝石スカルン、スカルン III：ザクロ石－単斜輝石スカルン。硫化鉱物の鉱石は、とくに石灰岩との接触部のスカルン III、次にスカルン I に濃集する。これらのスカルン帯は、流入する熱水流体の介在する中での、石英閃緑岩と石灰岩との間の  $Al_2O_3$  と  $CaO$  化学ポテンシヤル ( $\mu$ ) 勾配によって生成された。鉱物共生関係などから、生成温度は約  $500^{\circ}C$ 、圧力は 1 kb と見積もられる。鉱物共生関係は局所的に時間的にも変化するが、これは  $\mu CO_2$  の増大が原因である。また希土類元素のコンドライト規格化パターン、とくに Eu 異常は、ザクロ石や単斜輝石で大きく変化する。この変化は、高い酸素フュガシティーをもった初生の熱水流体が、石墨を含んだ低い酸素フュガシティーの石灰岩との反応によって生じた酸素フュガシティーの変動の反映である。新山鉱床のスカルン帯は、日峰鉱床よりも低温で、高い  $\mu CO_2$  と  $\mu Fe$  の条件で生成した。日峰鉱床のスカルンは、新山鉱床よりも高い Cu, Zn, Ni, Co 含有量を持つが、両鉱山の銅鉱床を伴うスカルンの Zn/Co, Zn/Ni, Co/Ni 比は狭い範囲に限られ

る。これは、銅鉱床をもたらした熱水流体の本流は日峰鉱床に流入し、より派生的で分化した熱水流体が新山鉱床に流入したことを意味する。

日峰鉱床のスカルン帯について、その構造、鉱物組成、化学組成などの特性をもとにした物質収支の計算から反応モデルを組み立てた。反応は5つのゾーンの境界で同時におこり、スカルン Ia, Ib, IIIを中間生成物として、反応の進行とともにスカルンIIの最終生成物へと変わっていく。移動する物質は拡散による成分と浸透する成分とに区別された。浸透成分は Si, Fe, S, Cu, Zn, Ni, Co などであり、これらは大部分流入する熱水流体からもたらせられた。このときの流入する流体と岩石の体積比は、2.3~7.3、流体中の元素濃度は、Cu=590, Zn=130, Ni=120, Co=30 ppm, Fe=8.8%と見積もられた。

反応モデルで明らかになった反応の大きな特徴は次の二点である。一つは、流入（浸透）する成分の量と、反応によって岩石から放出される CO<sub>2</sub>あるいは H<sub>2</sub>O の流体成分との間に正の相関があること、すなわち、もっとも CO<sub>2</sub>が大量に放出される石灰岩との接触部の反応で最も物質の流入が大きい（流入する全量の90%）。もう一つは、硫化鉱物の沈殿する反応の場合は Ca やアルカリの放出される反応でもあるということである。前者の事実は、反応で放出される CO<sub>2</sub>や H<sub>2</sub>O が、熱水流体の流入を促進し、一つの流通システムをつくるということを意味する。放出された流体成分は、一時的に流体圧を増大させ、孔隙や割れ目を生成し、岩石の浸透性を増大させる。後者は、硫化好物の沈殿は、酸性の熱水流体の、炭酸塩鉱物や長石との中和反応によるということを示す。このように、スカルン鉱床の他の熱水鉱床とは異なる独自性は、熱水流体の炭酸塩岩との反応の特性にあり、その反応は熱水流体の流入から鉱物の沈殿までの一連のプロセスを支配している。

## 論文審査の結果の要旨

落合清茂提出の論文は地殻内での物質移動の重要なプロセスである花崗岩質マグマの形成過程 (Part I) およびその固結段階に伴う熱水過程でのスカルン鉱床 (Part II) について、それぞれ野外での典型的な事例の研究を行ったものである。

花崗岩の事例については阿武隈山地竹貫変成岩の融解現象について取扱っている。岩石組織、鉱物組成、主成分および微量成分組成の解析を行い、高いアルミナ玄武岩質角閃岩の部分融解によってカルクアルカリ岩質トーナリ岩・トロニウム岩質マグマが生成したことを明らかにした。角閃岩の部分融解は、閃緑岩質岩体の貫入による接触変成作用によって、圧力約 3 kb、温度 800°C より高温の水に富む条件でおこり、主に融け残り結晶からなるはんれい岩と、生成したトーナリ岩質メルトから分別結晶作用によって形成された石英閃緑岩・トーナリ岩・トロニウム岩の岩脈を作った。このカルクアルカリ岩質マグマの生成には融解残滓あるいは分別結晶としての角閃石、単斜輝石、イルメナイトそして斜長石が重要な役割を果たしている。またこれらのトーナリ岩・トロニウム岩は、メタアルミナで正の Eu 異常を有し、Y と Yb に乏しい。このような岩石は、とくにマントルでのエクログャイトに変化した玄武岩が起源と考えられているが、本地域の例は地殻浅部 (約 10 km) で高アルミナ玄武岩質角閃岩の部分融解によっても生成し得ることを示した。

変成岩については釜石鉱山のスカルン鉱床を取上げている。岩石・鉱床学的な記載を行い、スカルンと鉱石の生成過程を明らかにした。特に日峰鉱床のスカルン帯について、その構造、鉱物組織、化学組成を基にして定量的な反応モデルを組み立て、物質移動とそのメカニズムを解析した。反応モデルは、スカルン帯をつくる反応は熱水流体の流入から鉱石の沈殿までを最も効率的に行う反応機関であることを明らかにした。特に、反応で放出される  $\text{CO}_2$  や  $\text{H}_2\text{O}$  は、流体圧を増大させ、孔隙や割れ目を生成し、熱水流体の流入を促進する。更に石灰岩や長石類との中和反応が鉱石の沈殿をもたらす。このようにスカルン鉱床の特質は、熱水流体と炭酸塩岩との反応の特性にあり、その反応が鉱床形式の一連のプロセスを支配している。

以上の研究は落合清茂が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって、落合清茂提出の論文は博士 (理学) の学位論文として合格と認める。